

粉碎機のえらび方①

目皿なしハンマークラッシャー

遠藤 展

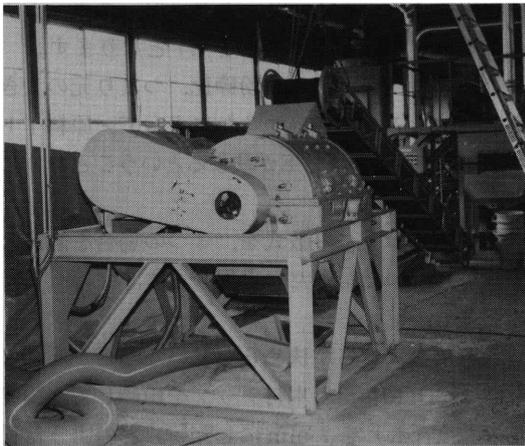
はじめに

樹皮も含めた木材の粉碎機は、いろいろなタイプが市販されています。今回は、その中でも特に普及している「目皿なしハンマークラッシャー」について述べます。

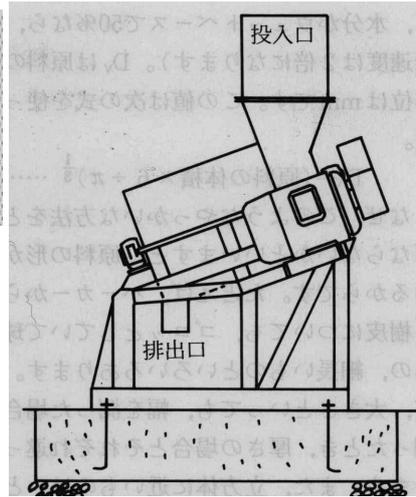
図は、この報告をまとめる際に用いた粉碎機の模式図ですが、仕様を表に示します。原料はコンベア等から投入し、粉碎機下部の排出口より粉碎物を取り出す仕組みになっています。また、この粉碎機は、この排出口を閉じ、粉碎機胴体底部に目皿をつけることにより、目皿つき粉碎機として使うこともできます。この目皿をつけた場合については、次回の「目皿つきハンマークラッシャーのえらび方」で解説します。

この粉碎機は、小径木のチップ工場の中に設けられております。小径木をドラムバーカーで剥皮し、木部はチップとして利用し、樹皮はこの粉碎機で処理しています。粉碎樹皮は家畜敷ワラとして販売しています。

下の写真はこの粉碎機の全体像ですが、今回は、



粉碎機全体像



粉碎機模式図

粉碎機の仕様

モーター動力	22 kW
回転数	0~1700 回転/分
ハンマー枚数	52 枚
内径	680 mm
長さ	810 mm

この粉碎機の直径、ハンマーの回転数、モーターの設備動力を、処理能力、原料の大きさ、粉碎物の大きさとの関係で、どのようにしてえらんでいくかについて2, 3の例を使って説明します。

数式(1),(2),(3)

一番最初に数式がでてきてとまどうかも知れませんが、図を何十枚のせるよりも応用ができますので、がまんして理解していただくようお願いいたします。

まず、粉碎機の設備すべきモーターの動力を求める式です。

$$P = F \times Dv \times (Dc \times R2)^3 \times K \dots\dots\dots (1)$$

P はモーターの動力（空転動力は含まない、単位は kW）です。F は粉碎機への原料の供給速度で、1時間に乾燥重量に換算して何トンの原料を粉碎機に投じたかをあらわし、単位は ton/h です（今後とも重量は乾燥重量、つまり全く水を含まない状態の重量トンであらわします。したがっ

て、水分がウェットベースで50%なら、原料の供給速度は2倍になります)。Dvは原料の大きさで、単位はmmです。この値は次の式を使って求めます。

$$Dv = (\text{原料の体積} \times 6 \div \frac{1}{3})^{1/3} \dots \dots \dots (2)$$

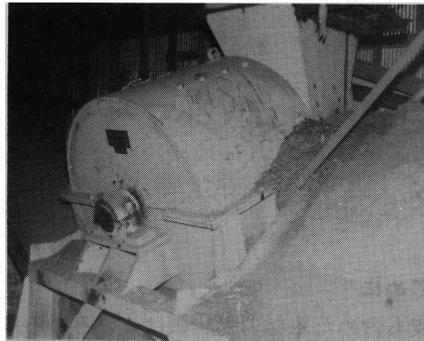
なぜ、このようなやっかいな方法をとらなければならないかといいますと、原料の形がいろいろあるからです。たとえば、バーカーから排出される樹皮についても、ゴロツとしていて球形に近いもの、細長いものといろいろあります。したがって、大きさといっても、幅を測った場合、長さを測ったとき、厚さの場合とそれぞれ違った値となります。また、立方体に近いものは、どれが長さか、幅あるいは厚さか分かりません。そのため大きさを比較するのが難しくなります。そこで(2)式では、原料の体積を求めて、この体積と同じ体積を持つ球の直径を求めています。この値であれば、1つの原料からは1つの値しか出てこないし、また、形がいろいろあっても1つの値しかできません。したがって、この値を原料や粉砕物の大きさに決めると、容易にお互いの大きさを比較できることになるからです。

Dcは、粉砕機の直径(内径mm)です。Rは1分間当たりのハンマーの回転数(rpm)です。Dc×R²は、物理的には、遠心力のようなもので、原料を粉砕機の外周にハンマーでたたきつける力です。()^{2/3}は、2/3乗のことで関数機能つき電卓で簡単に計算できます。Kは係数で、木部のみを粉砕する場合は4.35×10⁻⁷、樹皮部のみでは2.22×10⁻⁷(0.000000222)です。

さて、ここでもう一度(1)式を示します。

$$P = F \times Dv \times (Dc \times R^2)^{2/3} \times K \dots \dots \dots (1)$$

この式の示している意味は、必要なモーターの動力Pは、原料の供給速度Fが大きければ大きいほど、大動力となるということです。さらに、原料の大きさDvが大きければ大きいほど、この場合もまた、モーターの動力Pを大きくしなければなりませんよ、ということ、そして、Dc×R²によって示されるハンマーの遠心力が大きくなればなるほど、すなわち、粉砕機の直径Dcを大きくし、



原料投入部

回転数Rをあげればあげるほど、モーターの動力Pは大きくしなければなりませんよ、ということを示しています。

さらに、あともう1つ数式が必要です。

$$E = C \times \left(\frac{Dv}{dv} - 1 \right) \dots \dots \dots (3)$$

この式は、原料を粉砕するために必要なエネルギーを求めるための式です。Eは、乾物1トンに粉砕するためのエネルギー(単位はkWh/ton)を、Dvは原料、dvは粉砕物の、それぞれ大きさです。dvの求め方については、(2)式のDvと同じですが、dvの場合はほとんど粉砕物の幅と同じ値になります。Dv/dvは、原料の大きさと粉砕物の大きさの比であり、粉砕比と呼ばれています。また、ついですが、粉(こな)の大きさを粒度(りゅうど)といいます。Cは係数で、木質の場合20、トドマツ樹皮で1.7、エゾマツ、カラマツ、スギ、シナノキそれぞれの樹皮の場合で4.7となります。

この式の持つ意味は、粉砕比、つまり元の大きさの何分の1まで粉砕するかによって、原料1トンに加えるエネルギーEが決まるということです。

では、この3つの数式を、3つの場合を想定して理解していただきたいと思います。

粉砕物の大きさが決められている場合 原料の粒度(Dv)10mmの木材チップを粉砕して、粉砕物の粒度(dv)を7mmにしたい。どのような粉砕機を選定すれば良いのか、という例です。

この場合は、元の原料の何分の1にまで粉碎することが決まっています。したがって、原料に加えるべきエネルギー Eが決まることとなります。この値は(3)式を用いれば求まる訳です。そこで、まず(3)式を用います。Dv=10mm, dv=7mm, 木質なので C=20を代入して

$$E = 20 \times \left[\frac{10}{7} - 1 \right] \dots \dots \dots (4)$$

E = 8.6 (kWh / ton) が得られます。すなわち、7mmまで粉碎するためには、原料 1トン当たり 8.6 kWh のエネルギーが必要ですよ、ということです。さて、つぎにモーターの大きさを決めます。1トン当たり 8.6kWh のエネルギーを与えるといっても、数時間もかけて与えるのであれば、小さい動力のモーターで良いこととなります。また、逆に、数秒で与えるのなら大きい動力のモーターがいることとなります。すなわち、原料の供給速度 F が関係してくるということです。

ところで、EとPとFの間には次のような関係があります。

$$E = P \div F = 8.6 \text{ (kWh / ton)} \dots \dots \dots (5)$$

(5)式においてFを左辺に移動して

$$P = E \times F \dots \dots \dots (6)$$

となります。この式を使えば設備すべきモーターの大きさが求まります。

すなわち、1トン当たり 8.6 kWh (E) のエネルギーをかける場合、供給速度Fを 1 ton / hにすると 8.6 kW (P) のモーターを、短時間に処理するため供給速度Fを倍の 2 ton / hにすると、倍の 17.2kW (P) のモーターが必要となります。

さて、次は粉碎機の直径 Dcと回転数Rを求める番です。(1)式は、Fを左辺に移動しますと、

$$E = \frac{P}{F} = Dv \times (Dc \times R^2)^{\frac{2}{3}} \times K \dots \dots \dots (7)$$

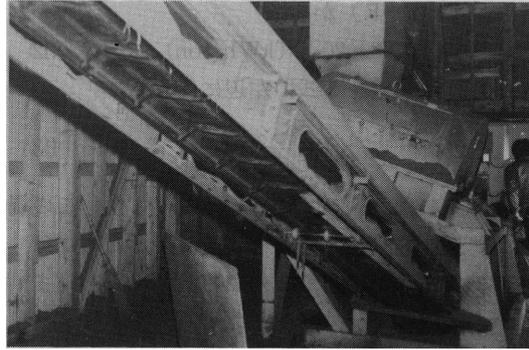
$$= 8.6 \text{ (kWh / ton)}$$

Dv = 10mm, K = 4.35 × 10⁻⁷とすると、

$$8.6 = 10 \times (Dc \times R^2)^{\frac{2}{3}} \times 4.35 \times 10^{-7} \dots (8)$$

となります。この結果

$$Dc \times R^2 = 2.78 \times 10^9 \dots \dots \dots (9)$$



排出コンベア

が得られます。いま、回転数を2000rpm にしますと、粉碎機の内径は 694mm となります。すなわち、ここまでで粉碎機の回転数の大きさが選定できました。また、このような大きな粉碎機を設置できるスペースがない場合は、回転数を増加させれば良い訳で、粉碎機の内径を小さくして300mm にすれば

$$\sqrt{2.78 \times 10^9 \div 300} = 3000 \text{ (rpm)} \dots \dots (10)$$

と、回転数を1000回転あげて、3000回転に設定すれば良いこととなります。

一方、樹皮の場合は、係数 Kには 2.22 × 10⁻⁷、係数 Cには、樹皮の種類に応じてそれぞれの値を代入すれば求まることとなります。しかし、この外に、空転動力の分を見なければならぬということはあるかもしれません。

原料が変わった場合 回転数3000rpm, 内径600mm, モーター動力20kW (空転抜き) の粉碎機でいままで木質のみを粉碎していた。今度は、トドマツをドラムバーカーで剥皮した原料 (Dv = 30mm) を粉碎したいが、処理能力と粉碎物の粒度はどの程度になるかという例。

処理能力は、(1)式から求まります。

P = 20 (kW), Dv = 30 (mm), Dc = 600 (mm), R = 3, 000 (rpm) K = 2.22 × 10⁻⁷を代入して、

$$20 = F \times 30 \times (600 \times 3,000)^{\frac{2}{3}} \times 2.22 \times 10^{-7} \dots \dots \dots (11)$$

より、F = 0.98, すなわち毎時 0.98トン処理できることとなります。原料に加えるエネルギーは、

(6)式 ($E=P \div F$) から,

$$20 \div 0.98 = 20.5 \text{ (kWh / ton)} \dots\dots\dots (12)$$

なので、この値を(3)式の左辺に代入して

$$20.5 = 1.7 \times \left(\frac{30}{dv} - 1 \right) \dots\dots\dots (13)$$

と計算すれば、 dv は2.31mmとなります。この場合、処理能力や粉砕物の粒度を変えるためには、原料の大きさを変える以外に方法はなく、いま、原料の粒度を半分の15mmにすると、 F は上がって1.96ton/hになりますが、 dv はほとんど変化せず2.1mmとなります。

粉砕機を改造する場合 現在、トドマツ樹皮 ($D_v = 30\text{mm}$) を粉砕している手持ちの粉砕機を改造して処理能力を上げたいという例。

現在の仕様は、空転動力を除いたモーターの動力10kW、内径600mm、回転数1,200rpm、これを20kW または2,000rpmまで上げると処理能力、粉砕物の粒度はどの程度になるか。

まず、現在どの程度の処理能力があり、粉砕物の粒度がどの程度かを計算してみます。

(1)式に、 $D_v = 30(\text{mm})$ 、 $D_c = 600(\text{mm})$ 、 $R = 1200(\text{rpm})$ 、 $K = 2.22 \times 10^{-7}$ 、 $P = 10(\text{kW})$ を代入しますと、

$$10 = F \times 30 \times (600 \times 1200^2)^{\frac{2}{3}} \times 2.22 \times 10^{-7} \dots\dots\dots (14)$$

から、 $F = 1.66\text{ton/h}$ となります。 dv は、(3)式に $D_v = 30(\text{mm})$ 、 $C = 1.7$ 、 $E = 6.02(10 \div 1.66 = 6.02\text{kWh / ton})$ を代入して

$$6.02 = 1.7 \times \left(\frac{30}{dv} - 1 \right) \dots\dots\dots (15)$$

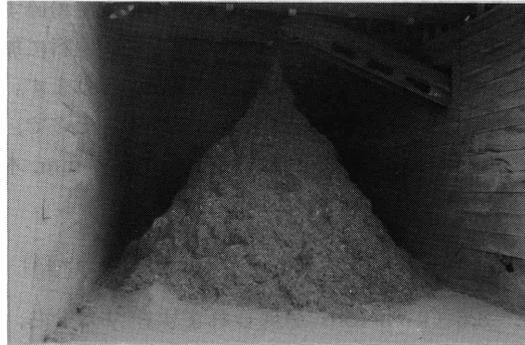
から、 dv は6.61mmとなりました。

さて、これを回転数のみをあげ2000rpmにしますと、(1)式から

$$10 = F \times 300 \times (600 \times 2000^2)^{\frac{2}{3}} \times 2.22 \times 10^{-7} \dots\dots\dots (16)$$

ですから、 $F = 0.84\text{ton/h}$ となり、処理能力は逆に低下する結果となりました。一方、 dv は(3)式と $E = 11.9(10 \div 0.84)$ から

$$11.9 = 1.7 \times \left(\frac{30}{dv} - 1 \right) \dots\dots\dots (17)$$



粉砕バーク

となり、 dv が3.75mmと得られますので、回転数のみをあげると粉砕物は小さくなるが、処理能力は逆に低下することが分かります。また、逆に回転数はそのまま、モーター動力のみを20kWにすればどうなるでしょうか。

(1)から、 $F = 3.31(\text{ton/h})$ 、(3)式から、 $dv = 6.6(\text{mm})$ となります。すなわち、改造に際しては、処理能力アップにはモーターの動力をあげることで、粉砕物を小さくするためには、回転数をあげることが必要であると言えます。

おわりに

以上、述べたような方法で、粉砕機を選定することができます。しかし、この計算は原料が一定であり、また、一定の速さで粉砕機へ供給されているという前提の上に成り立っております。このためには、原料の供給速度を一定にするために、供給コンベア上に掻き取り羽根などをつけて、常に一定の体積の原料を粉砕機へ供給するとか、原料の不ぞろいについては、選別のための要員を配置するなどの方策をとらなければなりません。このような方法をとらない場合は、いままで述べた方法によって得られたモーター動力の、少なくとも2倍のモーターを用意することが必要だと思われれます。また、改造に際しては、空転動力の増加についても配慮することが必要です。

(林産試験場 繊維板試験科)